

ARBEITSKREIS BAYERISCHER PHYSIKDIDAKTIKER

## **BEITRAG AUS DER REIHE:**

Werner B. Schneider (Hrsg.)

# Wege in der Physikdidaktik

Band 2

Anregungen für Unterricht und Lehre

ISBN 3 - 7896 - 0100 - 4

Verlag Palm & Enke, Erlangen 1991

### Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.  
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.  
Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.  
Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle  
genutzt werden. Auf der Homepage  
[www.solstice.de](http://www.solstice.de)  
werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

## Beispiele zur Bestimmung von Elementen der natürlichen und künstlichen Umweltradioaktivität

### 1. EINLEITUNG

Die experimentelle Schulphysik verfügt seit längerer Zeit über Gamma-Spektrometer mit NaJ(Tl)-Szintillationsdetektoren. Diese Geräte eröffnen dem Physikunterricht viele neue und interessante experimentelle Möglichkeiten zur Kernstrahlungsmessung [1], weil über die Aktivitätsmessung hinaus mit der Gamma-Spektroskopie eine Identifizierung der radioaktiven Elemente durch die Messung der Energie ihrer Kernstrahlung gelingt. Das Meßverfahren entspricht einer Ausdehnung der Spektralanalyse vom lichteptischen Bereich auf das kurzwellige Gebiet der Röntgen- und Gammastrahlung. Die für ein Radionuklid charakteristische Gammastrahlung wird beim Übergang angeregter Kerne in einen energetisch tieferen Zustand oder den Grundzustand emittiert.

Mit unterschiedlicher Zielsetzung geben zahlreiche fachdidaktische Arbeiten interessante Anregungen für die Berücksichtigung der Gamma-Spektroskopie in der Schulphysik. Hilscher [4] beschreibt einen Szintillationszähler, der unter ausschließlich fachdidaktischer Zielsetzung konzipiert, Schülern schrittweise die Mechanismen der Umsetzung von Strahlungsenergie in proportionale Spannungsimpulse einsichtig macht. Die komplexe Struktur von Gamma-Spektren und die verschiedenen Wechselwirkungsprozesse von Gamma-Strahlung mit Materie haben Hoppenau und Rascher [5,6] mit einem Schulspektrometer gemessen. Quantitative Experimente zum Compton-Effekt beschreibt Göhler [7].

Wir versuchen in unseren Arbeiten, neben den wichtigen kernphysikalischen Grundlagen und Phänomenen, den Bezug der Physik zur Alltagswelt der Schüler stärker zu berücksichtigen. Neben der Betonung des Praxisbezugs unserer Wissenschaft möchten wir Schülern auch zeigen, daß es ihnen persönlich etwas nutzt, sich mit kernphysikalischen Grundlagen auseinanderzusetzen, weil sie damit Vorgänge und Ereignisse in der Alltagswelt besser verstehen und eigenständig beurteilen können. Der weite Bereich der Umweltradioaktivität bietet für dieses Ziel viele Beispiele. Eine empirische Untersuchung [8] ergab, daß Schüler mit dem Begriff Radioaktivität übermächtige Gefahr und Angst verbinden und nur über geringe Kenntnisse zur Wirkung radioaktiver Strahlung verfügen.

Gleichzeitig stellten wir großes Interesse für das Thema Radioaktivität fest. Auch aufgrund dieser Ergebnisse glauben wir, daß der Physikunterricht stärker den Bezug zur Alltagswelt der Schüler herstellen muß. Am besten könnte das ein mehrperspektivisches Konzept leisten. Neben den hier dargestellten physikalischen Experimenten zur Umweltradioaktivität wäre im Anschluß anderen Fragen nachzugehen: der biologischen Strahlenwirkung und medizinischen Aspekten, aber auch wirtschaftlichen und gesellschaftspolitischen Fragen. Selbstverständlich ließe sich dieses Konzept nicht allgemein für den Physikunterricht realisieren, wäre aber in exemplarischen Beispielen, wie dem hier angesprochenen Thema Umweltradioaktivität, sicherlich eine Bereicherung. Das Thema ermöglicht aufzuzeigen, wie weitreichend physikalische Zusammenhänge in das gesellschaftliche Leben wirken und bei Entscheidungen beachtet werden müssen.

## 2. MESSPLATZ ZUR GAMMA-SPEKTROSKOPIE

Die Gamma-Spektroskopie ermöglicht eine Identifizierung von Radionukliden über die Messung der Energie ihrer Kernstrahlung. Unser in Abb. 1 dargestellter Meßplatz repräsentiert ein Spektrometer, dessen gesamter Meßbereich in 256 Kanäle geteilt ist, in die die energieproportionalen Impulse des Detektors (Abb 1: Nr. 1 und Nr. 2) nach ihrer Höhe eingeordnet und gespeichert werden.

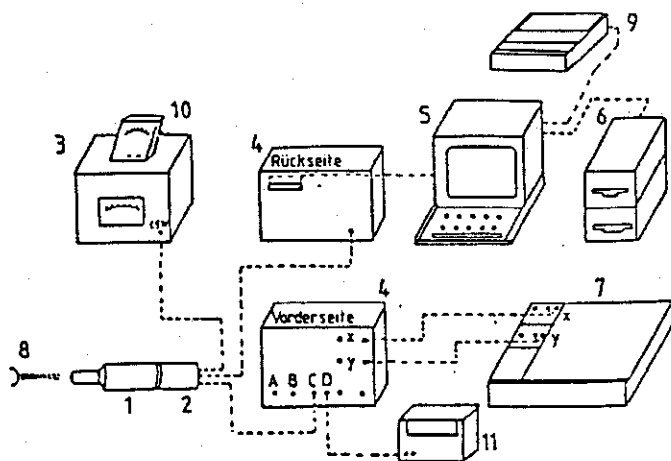


Abb. 1: Meßplatz zur Gamma-Spektroskopie

- |                          |                    |
|--------------------------|--------------------|
| 1 Szintillationsdetektor | 7 XY-Schreiber     |
| 2 Detektorausgangsstufe  | 8 Präparate        |
| 3 Spannungsversorgung    | 9 Drucker          |
| 4 CAP-Interface          | 10 Multimeter      |
| 5 Computer Apple 2e      | 11 Impulsmessgerät |
| 6 Diskettenstation       |                    |

Die Arbeitsweise eines Vielkanalanalysators wird durch das Zusammenwirken von CAP-Interface (Abb. 1: Nr. 4) und einem Apple 2e (Abb. 1: Nr. 5) möglich. Jeder Impuls der Detektorausgangsstufe erhält entsprechend seiner Impulsspitze einen

Digitalwert zwischen 0 und 255, der einem bestimmten Kanal entspricht und in diesen zum schon bestehenden Inhalt hinzuaddiert wird. Auf dem Bildschirm des Rechners ist die Entwicklung des Gammaskpektrums der gemessenen Strahlungsquelle zu beobachten. Das Spektrum wird wahlweise über den Drucker (Abb. 1: Nr. 9) oder XY-Schreiber (Abb. 1: Nr. 7) ausgegeben. Für Messungen zur Identifizierung unbekannter Nuklide muß das Spektrometer geeicht werden. Dazu nimmt man mit verschiedenen Eichpräparaten Spektren bei gleichen Einstellparametern bezüglich Hochspannung und Verstärkung auf und ermittelt über die Lage der Fotopeaks und ihrer zugehörigen Gammaenergien eine Eichkurve (Abb. 2). Danach können über die Auswertung von Gammaskpektrn unbekannte radioaktive Elemente identifiziert werden. Im Energiebereich  $W < 100$  keV können bei schwach radioaktiven Präparaten keine Aussagen erhalten werden, weil Röntgenfluoreszenzlinien, Untergrundstrahlung und Detektorrauschen Summenpeaks bilden, die nicht aufgelöst werden. Der Bereich wurde daher bei unseren Versuchsbeispielen nicht ausgeschrieben.

### 3. ELEMENTE DER NATÜRLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

#### 3.1 KALIUM IM MENSCHLICHEN KÖRPER

Das natürliche Isotopengemisch des Kaliums enthält mit 0,012 % das Isotop  $^{40}\text{K}$ , das mit der Halbwertszeit  $T_H = 1,28 \cdot 10^9$  a zerfällt. Dabei entsteht zu 89,3 % nach Beta-Emission  $^{40}\text{Ca}$  und zu 10,7 % über Elektroneneinfassung  $^{40}\text{Ar}$ . Die begleitende Gammastrahlung der Energie  $W = 1,46$  MeV ermöglicht die spektroskopische Identifizierung von Kalium. Über die Nahrung gelangt Kalium in den menschlichen Körper, wo es sich als notwendiger Bestandteil der Zellen homogen verteilt. Neben dem inaktiven Kalium ist auch das Isotop  $^{40}\text{K}$  zugegen. Aufgrund des Kaliumgehaltes von 2 g/kg Körpergewicht und seiner homogenen Verteilung bewirkt das inkorporierte Nuklid eine Ganzkörperbestrahlung von ca. 0,17 mSv pro Jahr, das ist der größte Anteil der jährlichen Dosis durch inkorporierte natürliche radioaktive Stoffe, die insgesamt ca. 0,3 mSv/a beträgt [15]. In einem einfachen Demonstrationsversuch kann sogar der menschliche Körper selbst als Strahlungsquelle dienen. Im Versuchsbeispiel wurden drei Personen möglichst nahe an den Szintillationsdetektor gesetzt und die Körperstrahlung 60 min gemessen. Von dem Spektrum muß der ebenfalls über 60 min gemessene Nulleffekt subtrahiert werden. Das Differenzspektrum in Abb. 2

zeigt Kalium durch einen deutlichen Peak bei  $W = 1,448$  MeV an. Mit diesem einfachen Versuch kann also sehr überzeugend gezeigt werden, daß der deutlichste Anteil der Körperstrahlung eines Menschen auf  $^{40}\text{K}$  zurückzuführen ist.

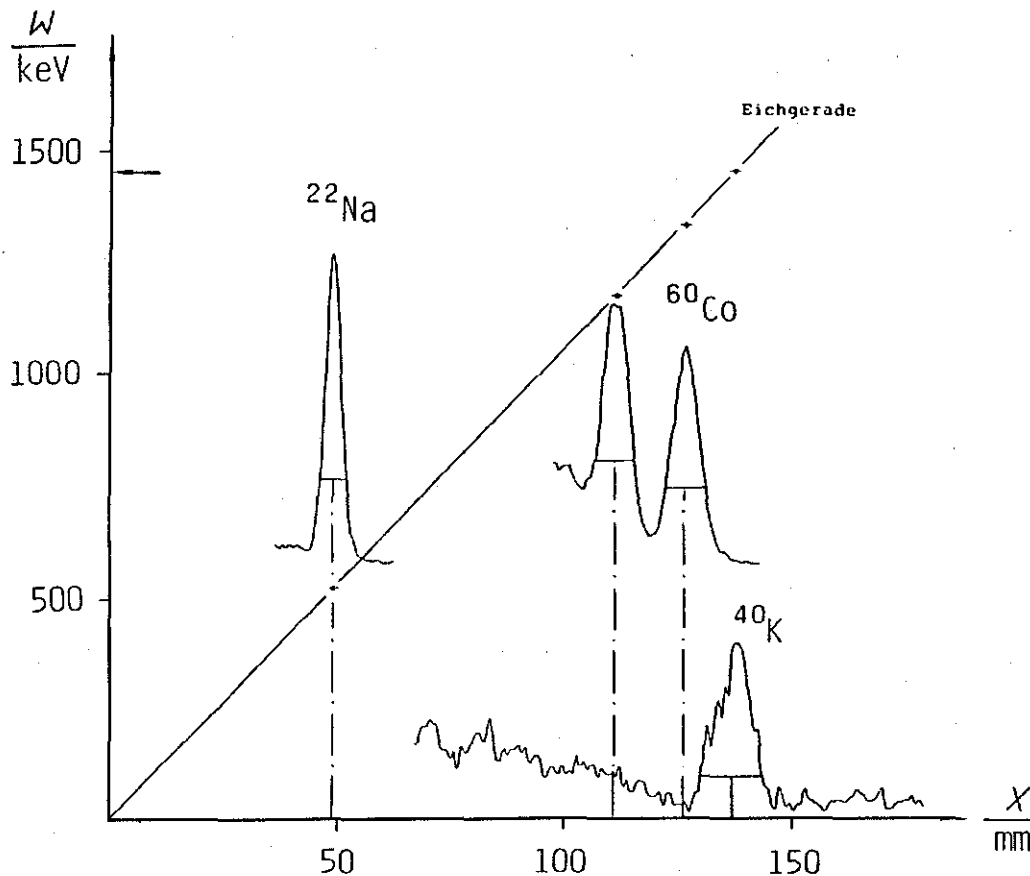


Abb. 2: Kalium im menschlichen Körper

### 3.2 RADON IN DER LUFT

Aktuelle Bedeutung kommt dem Radongehalt der Atemluft zu, weil die Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten ein Strahlenschutzproblem für die Bevölkerung darstellt. Die Frage wird über die fachwissenschaftliche Diskussion [12] hinaus auch in anderen Medien erörtert. Die ZEIT berichtete im Nov. 1988 ausführlich über die "Strahlung im trauten Heim" [10] und zuletzt im Aug. 1990 über "Strahlende Häuser" [11]. In diesem Beitrag wird über einen stark erhöhten Radongehalt in Häusern berichtet, zu deren Bau Abraummaterial einer Urananlage in Form von Sand mit verwendet wurde.

Das für den Radongehalt der Luft bedeutsame Element  $^{222}\text{Rn}$  gehört zur Uran-Radium-Reihe. Es entsteht bei dem direkten Zerfall von  $^{226}\text{Ra}$ .

Tabelle 1: Radium-Zerfall, nach [2,3]

$^{226}_{88}\text{Ra}$	↓	$T_H = 1600 \text{ a}$
	α	$W_T = 186 \text{ keV} \quad (3,3 \%) \quad (1)$
$^{222}_{86}\text{Rn}$	↓	$T_H = 3,82 \text{ d}$
	α	
$^{218}_{84}\text{Po}$	↓	$T_H = 3,05 \text{ min}$
	α	
$^{214}_{82}\text{Pb}$	↓	$T_H = 26,8 \text{ min}$
		$W_T = 241,9 \text{ keV} \quad (7,5 \%) \quad (2)$
	β <sup>-</sup>	$W_T = 295,2 \text{ keV} \quad (19,2 \%) \quad (3)$
		$W_T = 351,9 \text{ keV} \quad (36 \%) \quad (4)$
$^{214}_{83}\text{Bi}$	↓	$T_H = 19,8 \text{ min}$
	β <sup>-</sup>	$W_T = 609,3 \text{ keV} \quad (47 \%) \quad (5)$
$^{214}_{84}\text{Po}$	↓	$T_H = 0,2 \text{ ms}$
	α	
$^{210}_{82}\text{Pb}$	↓	$T_H = 22,3 \text{ a}$

Die in der Erdkruste gebundenen Stoffe Uran und Radium können durch Wasser herausgelöst in biologische Kreisläufe gelangen. Ihr gasförmiges Folgeprodukt Radon diffundiert darüber hinaus aus Gesteinen und Erdspalten in die Atmosphäre. Im Freien beträgt die Radonkonzentration in Erdbodennähe 1 bis 10 Bq/m<sup>3</sup>, liegt aber in der Raumluft unserer Häuser mit einem Mittelwert von 50 Bq/m<sup>3</sup> erheblich höher [15]. Dafür ist der Radiumgehalt der verwendeten Baustoffe verantwortlich und die Bauweise der Häuser. Natursteinkeller oder Natursteinboden im Keller aus Lehm oder Sand ermöglichen eine höhere Anreicherung von Radon aus dem Erdreich als moderne Kellerbauten mit

Betonplatte und Feuchtigkeitssperre [12]. Auch eine Reduktion der Lüftung und Veränderungen der Lüftungsbedingungen zu Energiesparmaßnahmen führen zu einer Erhöhung der mittleren Radonkonzentration.

Die Lunge ist das kritische Organ bei der Inhalation von Radon. Dabei geht die eigentliche Strahlenbelastung weniger von dem Edelgas aus, das im Körper kaum gebunden wird, sondern von den kurzlebigen Zerfallsprodukten, den Radionukliden von Polonium, Blei und Wismut (Tab. 1), die in Aerosolform in den Körper gelangen und vorwiegend im Bronchialbereich angelagert werden. Die mittlere Radonkonzentration in Häusern von  $50 \text{ Bq/m}^3$  führt zu einer jährlichen Äquivalentdosis der Lunge von etwa 18 mSv im Bronchialepithel und von etwa 2,4 mSv im Alveolarbereich [15]. Diese Ergebnisse zeigen, daß durch die Inhalation von Radon und seinen Zerfallsprodukten die Lunge das am stärksten durch natürliche Quellen strahlenexponierte Organ des menschlichen Körpers ist. Die Werte der Strahlenbelastung der Lunge können jedoch aufgrund von Bodenbeschaffenheit, Baustoff oder Bauweise der Häuser stark schwanken. Die bereits erwähnte Einsparung von Heizenergie kann ebenfalls eine höhere Lungenbelastung bedingen. Reduziert man die Ventilationsrate der Zimmerluft um etwa 10 %, so wäre eine Erhöhung der jährlichen Lungendosis um etwa 1 mSv zu erwarten [13]. Dieses Beispiel zeigt deutlich, welcher Einfluß auch auf die natürliche Strahlenbelastung genommen werden kann und daß sie keineswegs als Naturkonstante zu verstehen ist.

Zum Nachweis des Radons bzw. seiner Folgeprodukte muß man sie in geeigneter Weise der Meßapparatur zuführen. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die in der Luft befindlichen Radionuklide zu sammeln. Man kann Luft über längere Zeit durch einen Filter ansaugen und dann den Filter ausmessen. Um eine möglichst hohe Aktivitätskonzentration zu erreichen, haben wir auf einen schon lange bekannten Demonstrationsversuch zum Nachweis radioaktiver Stoffe in der Luft zurückgegriffen [14], den wir mit dem Gamma-Spektrometer aber quantitativer auswerten können. Ein blanker Draht wird im Raum ausgespannt und an die negative Buchse einer Hochspannungsquelle gelegt. Durch das elektrische Feld zwischen Draht und Erde bewegen sich die Radionuklide in der Luft, die häufig als positive Ionen vorliegen, zu dem negativen Draht, auf dem sie sich absetzen. Nach einer Wartezeit von 2 Stunden wird die Hochspannung abgeschaltet und der Niederschlag auf dem Draht mit einem Filterpapier abgewischt. Wir haben das gemessene Gammaspektrum in der Abb. 3 dem Eichspektrum eines  $^{226}\text{Ra}$ -Präparates gegenübergestellt.

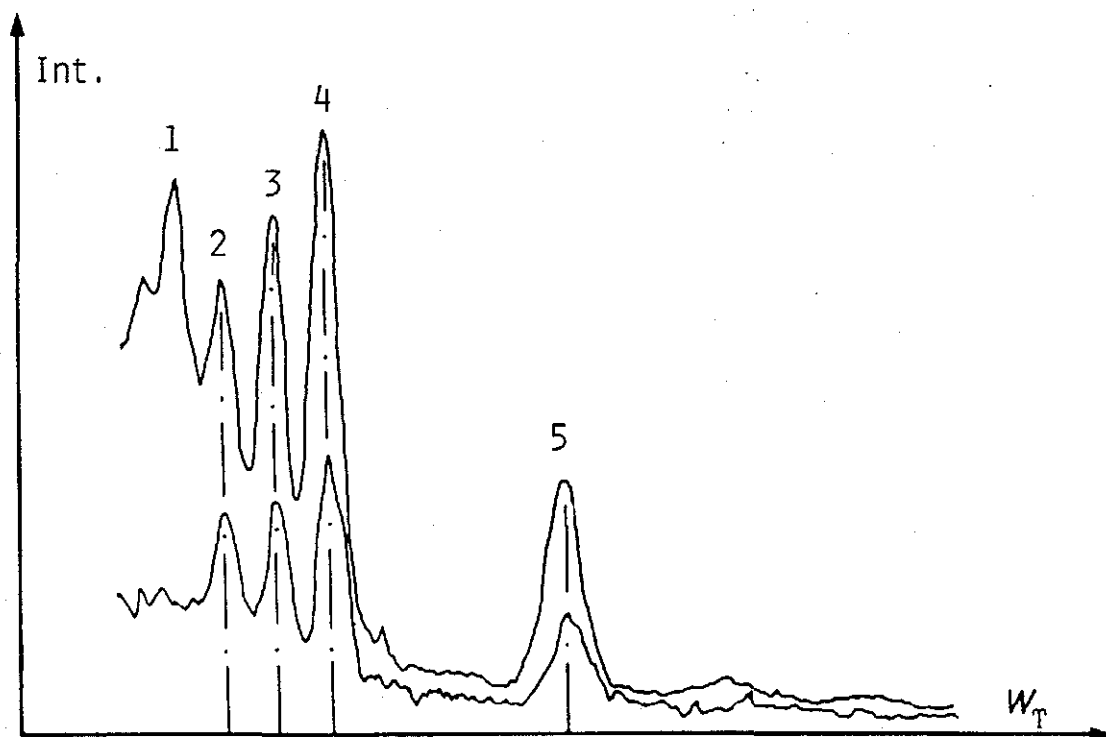


Abb. 3: Radongehalt der Luft;  
 oberes Spektrum: Eichspektrum eines  $^{226}\text{Ra}$ -Präparates  
 im radiochemischen Gleichgewicht mit seinen Folge-  
 produkten;  
 unteres Spektrum: Radionuklide in der Luft

Das Ergebnis ist ein überzeugender Beweis, daß die aus der Luft gesammelten Radionuklide tatsächlich die Folgeprodukte des Radons sind. Der Übergang Nr. 1 gehört zu der Gammastrahlung, die den Zerfall des  $^{226}\text{Ra}$  in  $^{222}\text{Rn}$  begleitet (Tab. 1). Diese Linie fehlt natürlich im Spektrum der aus der Luft gesammelten Radionuklide, die wir als Folgeprodukte des  $^{222}\text{Rn}$  vermuten (Tab. 1). Wir können von Radon angefangen nur die Elemente messen, die bei ihrem Zerfall eine begleitende Gammastrahlung aussenden. Die Nuklide  $^{214}\text{Pb}$  und  $^{214}\text{Bi}$  erfüllen diese Bedingung. Die anderen Elemente (Tab. 1) zerfallen nahezu als reine Alpha-Strahler, deren begleitende Gammastrahlung weit unter der Nachweisgrenze unseres Detektors liegt. In der Zerfallsreihe müssen wir uns also auf den Nachweis von  $^{214}\text{Pb}$  und  $^{214}\text{Bi}$  konzentrieren, deren Zerfälle von ausgeprägten



Gammalinien begleitet werden (Tab. 1). Dies wird nun durch die übereinstimmenden Spektren bestätigt. Unter den Folgeprodukten des  $^{222}\text{Rn}$  (Tab. 1) werden die Zerfälle von  $^{214}\text{Pb}$  in  $^{214}\text{Bi}$  von drei Gammalinien (Übergang Nr. 2, 3 und 4) und der Zerfall von  $^{214}\text{Bi}$  in  $^{214}\text{Po}$  von einer ausgeprägten Gammalinie bei  $W = 609 \text{ keV}$  (Übergang Nr. 5) begleitet. Diese Gammaübergänge des Eichspektrums und des Spektrums der Radionuklide aus der Luft stimmen vollständig überein, so daß damit die zugehörigen Nuklide  $^{214}\text{Pb}$  und  $^{214}\text{Bi}$  identifiziert sind.

Nach Jacobi [9] beträgt in bodennaher Luft die  $^{214}\text{Pb}$ -Aktivität 70 % der  $^{222}\text{Rn}$ -Aktivität. Die Höhe der Peaks als Maß für die Intensität der Strahlung zeigen in unserem Meßbeispiel deutlich, daß der Anteil der Gammastrahlung der Folgeprodukte des Radons überwiegend beim Zerfall von  $^{214}\text{Pb}$  emittiert wird.

#### 4. ELEMENTE DER KÜNSTLICHEN UMWELTRADIOAKTIVITÄT

Zur Überwachung der Umweltradioaktivität sind in der Bundesrepublik amtliche Meßstellen eingerichtet, und nach einem Beschluß des Bundestages vom 14. März 1975 legt die Bundesregierung jährlich einen Bericht über "Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung" vor, der die natürliche und zivilisatorische Strahlenexposition behandelt [15]. Zu den Beiträgen der zivilisatorischen Strahlenexposition, die im Vergleich zu den Vorjahren im wesentlichen unverändert blieben, kamen im Jahr 1986 die Auswirkungen des Unfalls im Kernkraftwerk Tschernobyl hinzu. Dieser Unfall hat zu einer Veränderung der Umweltradioaktivität geführt. Ein komplexes Gemisch kurz- und langlebiger Radioisotope wurde in unterschiedlichem Umfang über Europa verteilt. Am stärksten wurden Gebiete betroffen, in denen es beim Durchzug der radioaktiven Wolken zu starkem Niederschlag oder Gewittern kam.

Aktivitätsgehalte infolge des Reaktorunglücks sind bis heute auch mit schulüblichen Meßeinrichtungen nachzuweisen. Kurzlebige Radionuklide konnten in Gemüse und Grasproben identifiziert werden [1]. Der zeitliche Aktivitätsverlauf einer im Mai/Juni 1986 untersuchten Grasprobe ist in Abb. 4 wiedergegeben.

Die ausgeprägten Linien Nr. 1 und Nr. 2 können den Elementen  $^{131}\text{I}$  und  $^{103}\text{Ru}$  zugeordnet werden (Tab. 2). Aus dem Zerfallsschema [2] der beiden Radionuklide sieht man, daß beim Übergang von  $^{131}\text{I}$  in das stabile  $^{131}\text{Xe}$  im Anschluß an den Beta-Zerfall von  $^{131}\text{I}$  eine Gammalinie bei  $W = 364,5 \text{ keV}$  emittiert wird. Dieser Wert stimmt mit dem gemessenen Wert von  $360 \text{ keV}$  recht gut überein. Dem

Zerfallsschema des  $^{103}\text{Ru}$  [2] ist bei  $W = 497,1 \text{ keV}$  ein ausgeprägter Gammaübergang zu entnehmen. Auch dieser Wert liegt nahe bei dem in unserem Versuch ermittelten Ergebnis von  $485 \text{ keV}$ . Die Vermutung,  $^{131}\text{I}$  und  $^{103}\text{Ru}$  registriert zu haben, kann zunächst durch die Übereinstimmung der Energiewerte der Gammastrahlung belegt werden.

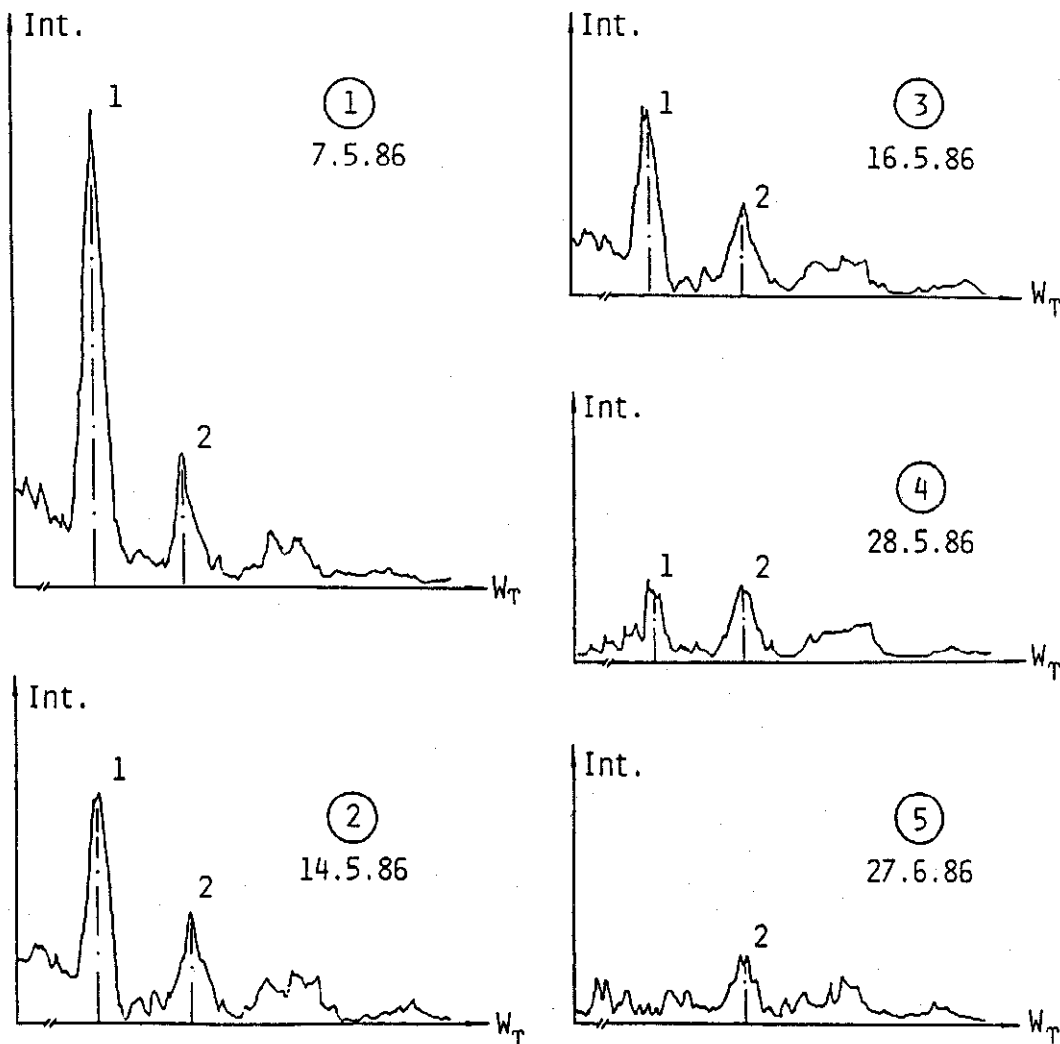


Abb. 4: Zeitlicher Aktivitätsverlauf der Radionuklide  $^{131}\text{I}$  und  $^{103}\text{Ru}$  in einer Gasprobe.

Mit der Halbwertszeit gibt es eine weitere charakteristische physikalische Größe zur Elementerkennung. Die Höhe der Fotopeaks als Maß für die Intensität der Strahlung muß aufgrund der Halbwertszeit der Radionuklide abnehmen. Man kann die Peakhöhe mit einem Lineal von der Abszisse ausmessen; daneben ermöglicht das Computerprogramm zum CAP-Interface die Ausgabe der Impulsraten, die zu

einem Peak beitragen. Aus den abgebildeten Spektren erkennt man deutlich die Abnahme der Impulsraten mit der Zeit. In Abb. 5 sind die Höhen der Fotolinien aufgrund des radioaktiven Zerfallsgesetzes logarithmisch gegen die Zeit aufgetragen. Dadurch wird es möglich, eine Ausgleichsgerade durch lineare Regression zu ermitteln [1], deren Steigung die Halbwertszeit ergibt.

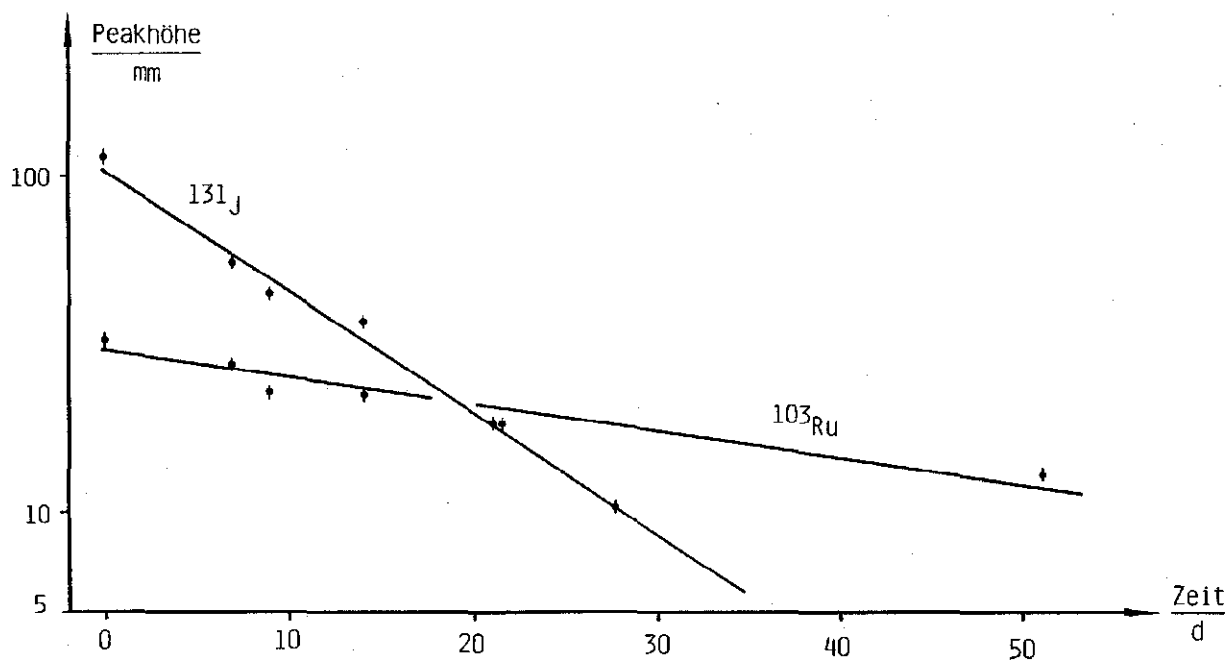


Abb. 5: Halbwertszeiten von  $^{131}\text{J}$  und  $^{103}\text{Ru}$

Für die Fotolinie 1 erhalten wir  $T_H = 8,29$  d und für die Fotolinie 2 den Wert  $T_H = 41,9$  d. Die Abweichungen von den Literaturwerten betragen somit 3,1 % für  $^{131}\text{J}$  und 6,2 % für  $^{103}\text{Ru}$ . Dieses Ergebnis bestätigt die Identifizierung der Isotope von Jod und Ruthenium.

Nachdem die kurzlebigen Radionuklide des Reaktorunglücks von Tschernobyl abgeklungen sind, können die langlebigen Isotope des Elements Caesium heute noch nachgewiesen werden. Aus Aerosolen, durch direkte Ablagerung und aus dem Wasser gelangten die radioaktiven Isotope in Biokreisläufe. Caesium wird in der Kuhmilch, Fischen, Waldpilzen und im Fleisch von Wild angereichert. Es wird aus der Nahrung resorbiert und verteilt sich nach Aufnahme im menschlichen Körper praktisch gleichmäßig. Die Inkorporation von Caesium führt somit zu einer homogenen Bestrahlung des Körpers, der es mit einer biologischen Halbwertszeit von 2-4 Monaten wieder ausscheidet.

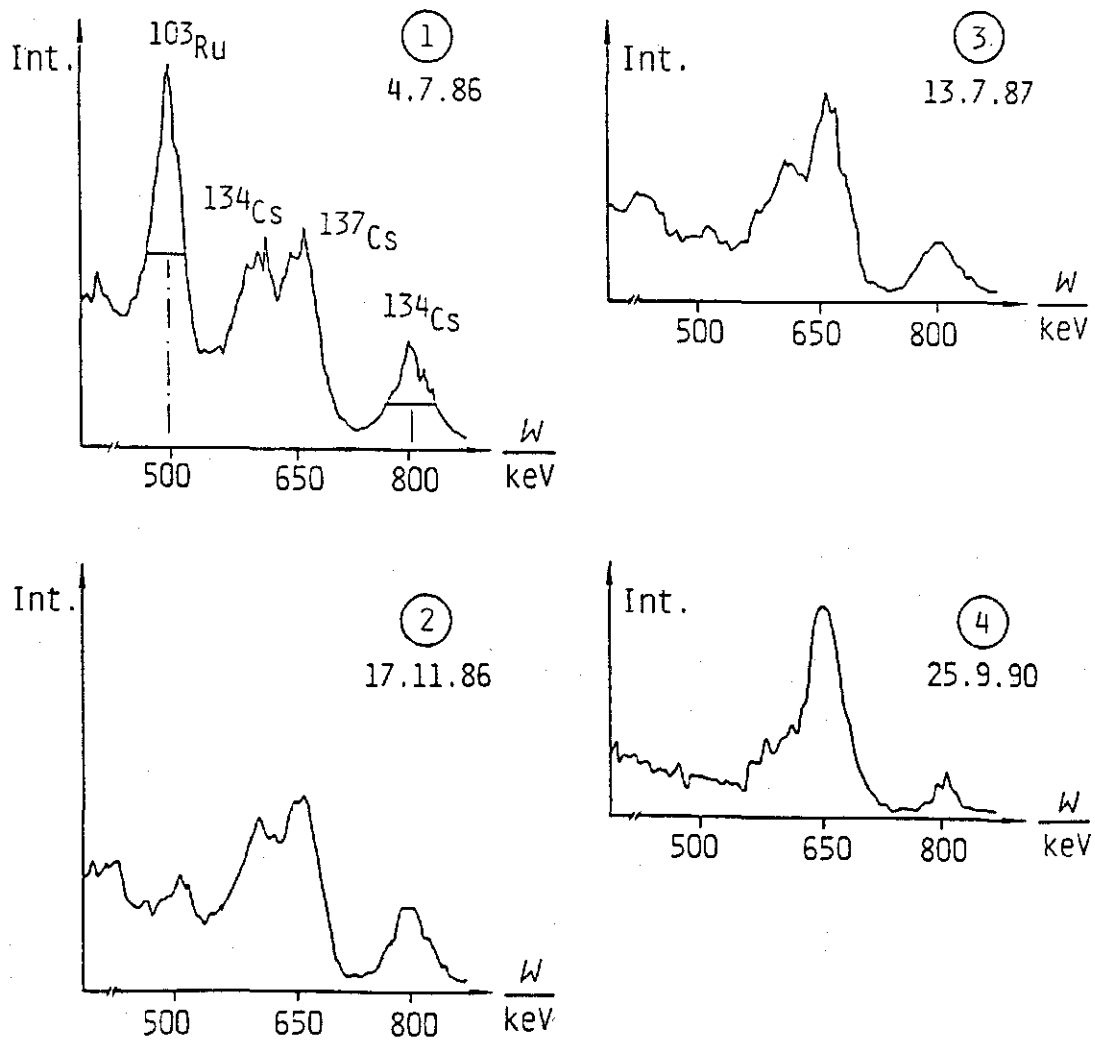


Abb. 6: Zeitlicher Aktivitätsverlauf der Radionuklide  $^{134}\text{Cs}$  und  $^{137}\text{Cs}$  im Sediment

Wir haben die Caesiumisotope im Sediment von Regenwasser über mehrere Jahre verfolgt. Die Abb. 6 zeigt Spektren aus den Jahren 1986 bis 1990. Zunächst enthält das Gammasktrum vier ausgeprägte Linien, deren erste zu dem bei den kurzlebigen Isotopen schon nachgewiesenen Element  $^{103}\text{Ru}$  gehört; diese Linie nimmt mit der Zeit schnell ab und verschwindet bei dieser Langzeitbeobachtung schließlich vollständig. Entsprechend seiner physikalischen Halbwertszeit ist das Element in der Probe zerfallen.

Unser Interesse gilt den verbleibenden Linien, die zu den Isotopen  $^{134}\text{Cs}$  mit der Halbwertszeit  $T_H = 2,06$  Jahre und  $^{137}\text{Cs}$  mit  $T_H = 30$  Jahre gehören. Auch hier gelingt wieder eine sehr gute Zuordnung der Fotopeaks zu den entsprechenden Gammaübergängen (Tab. 2). Die Gammastrahlung des  $^{137}\text{Cs}$  kann mit einer Abweichung von nur 1 % vom Literaturwert gemessen werden, und die Ergebnisse für die beiden Gammalinien des Isotops  $^{134}\text{Cs}$  stimmen ebenfalls gut mit den theoretischen Werten überein.

Energie der Gammastrahlung			
Element	$\frac{W}{\text{keV}}$	$\frac{W_{\text{Lit}}}{\text{keV}}$	$\frac{\Delta W}{\%}$
$^{40}_{19}\text{K}$	1448	1461	0,9
$^{214}_{82}\text{Pb}$	249	241,9	2,9
	305	295,2	3,3
	360	351,9	2,3
$^{214}_{83}\text{Bi}$	617	609,3	1,3
$^{131}_{53}\text{J}$	360	364,5	1,2
$^{103}_{44}\text{Ru}$	485	497,1	2,4
$^{134}_{55}\text{Cs}$	619	604,7	2,4
	816	795,8	2,5
$^{137}_{55}\text{Cs}$	668	661,6	1,0

Halbwertszeit			
Element	$\frac{T_H}{\text{d}}$	$\frac{T_{H(\text{Lit})}}{\text{d}}$	$\frac{\Delta T_H}{\%}$
$^{131}_{53}\text{J}$	$8,29 \pm 0,28$	8,04	3,1
$^{103}_{44}\text{Ru}$	$41,87 \pm 5,01$	39,28	6,2
$^{134}_{55}\text{Cs}$	$787,4 \pm 10,00$	752,6	4,6

Tabelle 2: Elementidentifikation durch Gamma-Spektroskopie und Halbwertszeitbestimmung

Die Halbwertszeit haben wir über die zweite Caesiumlinie bei  $W = 795,8$  keV bestimmt, weil die niederenergetische Linie aufgrund ihrer Nähe zum Gammaübergang des  $^{137}\text{Cs}$  sich hierfür nicht eignet. Aus den über einen Zeitraum von vier Jahren erhaltenen Meßergebnissen wird nach demselben Verfahren wie für die kurzlebigen Nuklide die Halbwertszeit zu  $T_H = 787$  d berechnet. Sie weicht um 4,6 % vom Literaturwert ab. So konnten wir auch für Caesium aus spektroskopischen Messungen und der Halbwertszeit die Identifizierung des Elements erhalten.

## 5. ZUSAMMENFASSUNG

Die Meßergebnisse zur Identifizierung natürlicher und künstlicher Radionuklide der Umweltradioaktivität in Tab. 2 zeigen eine bemerkenswerte Übereinstimmung mit den theoretischen Werten [2]. Die Bedeutung der auf Gammaspektrometrie beruhenden Analysenmethode für umweltphysikalische Untersuchungen wird eindrucksvoll unterstrichen, insbesondere unter der experimentellen Randbedingung unseres Meßplatzes, der ausschließlich aus schulüblichen Geräten besteht. Die Experimente sind der Alltagswelt entnommen und ließen sich um viele weitere Beispiele fortführen. Dieser Zugang zur Kernphysik und die bei den Versuchsbeispielen zusätzliche Erkenntnis, daß für viele Bereiche unseres gesellschaftlichen Lebens physikalische Untersuchungen von Bedeutung sind, eignen sich nach unserer Überzeugung, um Schüler für die Auseinandersetzung mit dem schwierigen Thema zu motivieren.

## 6. LITERATUR

- [ 1 ] Storch, P.: Untersuchungen zur Gamma-Spektroskopie, Schriftliche Hausarbeit, Universität-GH Siegen, 1986
- [ 2 ] ICRP Publication 38, Radionuclide Transformations, Energy and Intensity of Emissions, Pergamon Press, 1983
- [ 3 ] Seelmann-Eggebert, W., Pfennig, G., Münzel, H.: Karlsruher Nuklidkarte, 4. Auflage 1974
- [ 4 ] Hilscher, H.: Alpha-, Beta- und Gamma-Spektroskopie mit einem Szintillationszähler, PdN-Ph. 33, 1984, 75-81
- [ 5 ] Hoppenau, H. und Rascher, R.: Schulspektrometer für Alpha- und Gammastrahlung, PdN-Ph. 33, 1984, 81-89

- [ 6] Hoppenau, H. und Rascher, R.: Wechselwirkung von Gamma-Strahlung mit Materie demonstriert mit einem Schulspektrometer, PdN 32, 1983, 323-329
- [ 7] Göhler, H.: Quantitative Experimente zum Compton-Effekt,  
Teil I, PdN-Ph 29, 1980, 333-338  
Teil II, PdN-Ph 29, 1980, 377-381
- [ 8] Bodemann, M.: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung  
- Schülereinstellungen und Ergebnisse experimenteller Untersuchungen -  
In: Wiebel, K. H., (Hrsg.), Zur Didaktik der Physik und Chemie, GDGP-  
Tagung in Oldenburg 1986, Leuchtturm Verlag, 1987, S. 135-137
- [ 9] Aurand, K. et al (Hrsg.): Die natürliche Strahlenexposition des Menschen,  
Verlag G. Thieme, Stuttgart 1974
- [10] Furtmayr-Schuh, A.: Strahlung im trauten Heim,  
DIE ZEIT Nr. 46 vom 1. Nov. 1988
- [11] Krumenacker, Th.: Strahlende Häuser, DIE ZEIT Nr. 36 vom 31. Aug. 1990
- [12] Urban, M.: Bestimmung der Radonkonzentration in Wohnhäusern,  
Fachgespräch Überwachung der Umweltradioaktivität, BuMin des Innern,  
1983, S. 228-237
- [13] Jacobi, W.: Strahlung und Risiko, Nr. 20 der Reihe atw-Broschüren  
Kernenergie und Umwelt, Verlag Handelsblatt, Düsseldorf, 1983
- [14] NEVA, Versuche zur Radioaktivität, Firmenschrift Nr. 7180-371, Blatt 7
- [15] Bericht der Bundesregierung über Umweltradioaktivität und  
Strahlenbelastung im Jahr 1986, Deutscher Bundestag, Drucksache 11/5049